

0Cr16Ni6 双相不锈钢及其热处理

云马飞机制造厂 袁培柏

本文介绍了中温高强度双相 Cr-Ni 不锈钢 0Cr16Ni6 的基本性能和热处理工艺特点。试验证明: 冷处理是该钢热处理强化的主要手段, 随后的回火还可使强度进一步提高。

0Cr16Ni6 Double-Phase Stainless Steel and Its Heat Treatment

Yuan Peibo

(Yunma Aeroplane Manufacture Factory)

This paper deals with the fundamental properties and the characteristic of heat treatment process of moderate temperature high strength double phase Cr-Ni stainless steel 0Cr16Ni6. The results show that cold treatment is the main strengthening method of the material and subsequent temper can further improve the strength.

一、前 言

高强度不锈钢在现代航空航天工业用钢中占有相当重要的地位, 由于它们的比强度可与钛合金媲美, 而价格仅为钛合金的 $1/5 \sim 1/10$; 且性能稳定, 工艺性能好, 特别是这类钢具有较高的强度和良好的综合力学性能, 因此在航空工业中的应用也日益受到重视。如某型歼击机的发动机固定拉杆、襟翼舱转轴、销子等零件的工作条件不仅与燃气或大气直接接触, 还承受着一定的温度和载荷。过去采用高强度或超高强度结构钢 30CrMnSiA 及 30CrMnSiNi2A 制造, 使用中常发现表面严重锈蚀、脱皮, 需要及时更换。若采用工业上常用的奥氏体型不锈钢, 由于奥氏体十分稳定而不能强化, 势必增加结构重量。经过试验采用中温高强度双相不锈钢 0Cr16Ni6 制造上述零件, 可得到满意结果。

本文根据该钢的《暂行技术条件》, 探讨深冷处理对强化的影响和回火的最佳温度。从而制订有关零件的热处理工艺, 经多批生产证明: 质量稳定、工艺可靠。

二、材料分析

0Cr16Ni6 是一种高强度、高韧性和耐蚀性能良好的马氏体-奥氏体双相不锈钢。经固溶处理、深冷处理和回火后, 可得到稳定的马氏体和奥氏体组织。该钢热加工性能和冷变形塑性良好, 切削加工性能则介于奥氏体不锈钢与马氏体不锈钢之间。其缺口敏感性较低, 对氢脆不敏感, 并有较好的耐应力腐蚀性能。在 450°C 以下的空气介质中

及航空燃料燃烧产物的气氛中, 具有稳定的抗氧化性能。主要用来制造在 450°C 以下工作的飞机、发动机受力构件和其他在大气、醋酸及盐类介质中工作的重要零部件。0Cr16Ni6 钢的化学成分见表 1。

众所周知, 过渡类不锈钢的特点是成分和热处理制度对性能的影响特别敏感。因此对冶炼和热处理工艺的控制, 要求十分严格。为了得到所需要的组织和性能, 首先在冶炼时, 要求把主要合金元素的实际含量控制在较窄的范围内, 对 0Cr16Ni6 钢来说, 较理想的化学成分是将马氏体转变点 (M_s) 控制在室温附近, 以便通过热处理能够获得相当数量的马氏体组织。其次在热处理时, 固溶温度不能低于 1000°C , 否则碳化物溶解不充分, 将会降低钢的力学性能; 同时该钢只有通过深冷处理, 使奥氏体转变为马氏体, 才能有效地提高钢的强度。

三、工艺试验方案及结果

1. 试验用料

试样取自现场生产用料, 炉号为 114-82, 其化学成分见表 2。所有试样都用 $\phi 22\text{mm}$ 棒料加工而成。

表 2 工艺试验用料化学成分

元素	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	P	S
wt %	0.067	0.49	0.37	16.39	6.54	0.0085	0.017	0.005

2. 试验方案与结果

(1) 不同热处理状态下的组织与性能

试样规格 $\phi 10\text{mm} \times 15\text{mm}$

表 1 0Cr16Ni6 钢的化学成分

元素	C	Cr	Ni	Mn	Si	Ti	N	S	P
wt %	0.05~0.09	15~17	5~7	0.3~0.8	0.3~0.8	<0.05	<0.10	<0.02	<0.03

试样经不同的热处理工艺后，其金相组织和硬度列于 表 3。

表 3

试样编号	热处理状态及工艺	结 果	
		硬度 (HRC)	金相组织
1	固溶处理 (电炉: 1000±10℃×30min, <30℃清水冷却)	12~14	图 1a
2	固溶处理+回火 (RJJ36-6: 420±10℃×1h)	20~22	图 1b
3	固溶处理+冷处理 (-70~-80℃×2h)	41~41.5	图 1c
4	固溶处理+冷处理+回火	42.5~43	图 1d

试验结果表明：深冷处理是 0Cr16Ni6 钢热处理强化的主要手段。从金相组织也可看出，由于该钢的马氏体转变点 (Ms) 在室温附近，固溶状态下的组织是在奥氏体的基体上，分布着相当数量的 (约 40%) 板条马氏体和极少量的合金碳化物 (图 1a)，此时硬度很低。如果淬火后直接回火，硬度虽有提高，但强化效果不甚明显。反之，淬火后立即进行深冷处理，其强化效果十分显著，硬度接近该钢的最高值，马氏体的数量也成倍增加 (~90%)。随后的回火，使硬度进一步提高，达到该钢的最高硬度值。

(2) 最佳回火温度的选择

试样规格：标准拉伸试样和梅氏冲击试样。

热处理工艺：固溶处理+深冷处理+回火。其工艺参数同表 3，结果见表 4。

试验结果表明：随着回火温度的提高，拉伸强度和屈服强度均有所提高，400~440℃时达最高值。如回火温度

进一步提高，其值将逐渐下降。而塑性和韧性指标，随

表 4 不同温度回火后的力学性能

回 火 温 度, ℃	力 学 性 能				
	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ	ψ	a_k
	MPa		%		kJ/m ²
200	1308.3	1132.9	19	65.7	1431
300	1293.6	1081	19.3	67	1471
360	1290.7	1090.7	19.3	69.3	1765
380	1300.5	1156.4	19.7	68	1892
400	1313.5	1166.2	20.4	68	1941
420	1323.2	1201.5	21.3	67	1961
440	1311.3	1191.7	21.6	66.7	2059
460	1296.5	1165.2	23	68	2059
500	1161.3	1068.2	23.3	69	2059
550	1038.8	879.2	24	66	2059
600	1012.3	865.3	23.5	66	1963

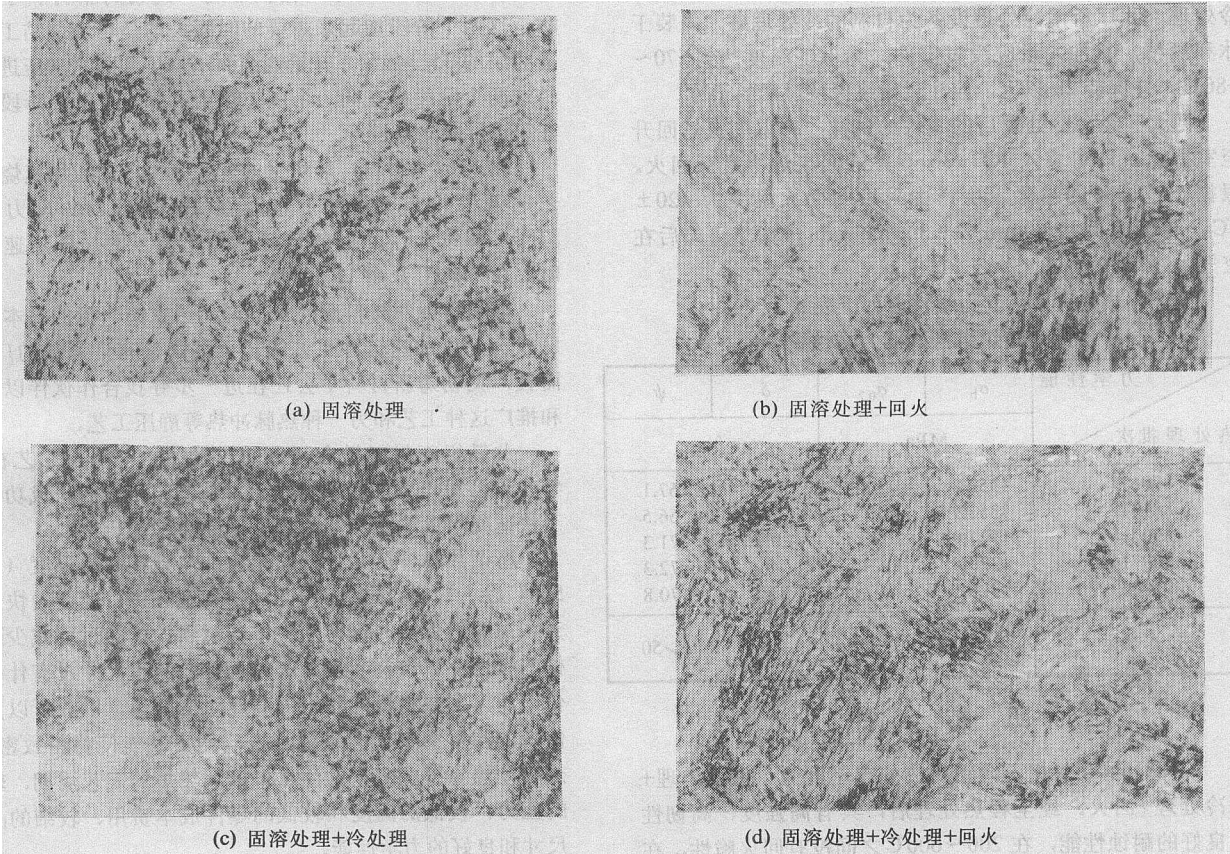


图 1 不同热处理状态下的金相组织 × 500

着回火温度的提高稍有提高或基本保持不变。此外，在试验的回火温度 (200~600℃) 范围内回火，没有发现回火

脆性现象。由此得到 0Cr16Ni6 钢的最佳回火温度范围为

400~440℃, 此时钢的综合力学性能最好。

四、零件热处理工艺

图 2 为某歼击机襟翼舱销子, 由 0Cr16Ni6 钢棒加工而成。该零件属于 2 类特检关键零件, 工作条件不仅接触大气, 且承受复杂的载荷作用, 技术要求为 $\sigma_b=1080\sim1380\text{MPa}$, $\sigma_{0.2}>930\text{MPa}$, $\delta>12\%$, $\psi>50\%$ 。

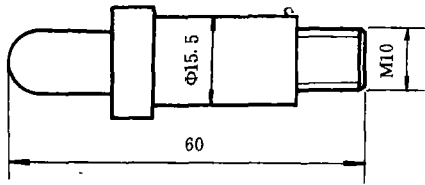


图 2 襟翼舱销子示意图

在上述材料分析、工艺试验的基础上, 生产中制订了如下的热处理制度: 固溶处理+深冷处理+回火。其具体工艺如下:

固溶处理 将零件及随炉力学性能试样一同装入不锈钢筛网中, 保持单层散放, 不经预热, 直接在高温箱式电炉中加热, 温度为 $1000\pm10^\circ\text{C}$, 保温时间以到温计时, 按 $20\sim30\text{min}+1\sim2\text{min}/\text{mm}$ 计算。保温后出炉淬入 $15\sim30^\circ\text{C}$ 的流动清水中冷至水温, 取出吹干水分。

深冷处理 固溶状态的零件和试样, 应在 1h 内进行冷处理。我厂所用冷处理设备为自制的冷处理罐。内装干冰和酒精, 其加入量应没过零件。为保证温度达到 $-70\sim-80^\circ\text{C}$, 并保持 2h 以上, 应注意始终保持过量的干冰。

回火 经深冷处理后的零件的试样, 待温度自然回升至室温后, 即可装入 RJJ-36-6 井式回火炉中进行回火。根据工艺试验的结果, 生产中采用的回火温度为 $420\pm5^\circ\text{C}$, 保温时间按 $60\text{min}+2\sim3\text{min}/\text{mm}$ 计算。回火后在空气中冷却。

经全程热处理后, 其力学性能列于表 5。

表 5 随炉所带试样力学性能

力学性能 热处理批次	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ	ψ
	MPa		%	
870611	1352.4	1131	18.3	67.1
881012	1352.9	1127	17.1	66.5
890216	1327.9	1090.7	20.15	71.3
900716	1329.4	1104.5	19.4	72.3
910209	1326.5	1079	18.6	70.8
技术指标	1080~1380	>930	>12	>50

五、结 论

1.0Cr16Ni6 双相不锈钢的热处理制度为: 固溶处理+深冷处理+回火。经全程热处理后, 具有高强度、高韧性和良好的耐蚀性能, 在 $200\sim600^\circ\text{C}$ 之间没有回火脆性, 在

450°C 以下使用, 具有足够的稳定性。

2. 该钢热处理特点是: 固溶处理温度不能低于 1000°C ; 深冷处理是其强化的主要手段; 随后经 $400\sim440^\circ\text{C}$ 回火, 可使强度进一步提高。

本文金相照片由厂中心试验室张庚午高级工程师制作。

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

粉末冶金新技术

用于生产粉末冶金材料的两种新技术已得到美国缅因州戈勒姆新材料学会的认可, 这两种新技术就是加压加速烧结技术和热脉冲热等静压技术。

加压加速烧结 (pressure assisted sintering) 是一种低压粉末冶金致密技术, 它可以利用模压成形, 也可用于注射成形 (injection moulded)。戈勒姆新材料学会声称, 按设备成本、加工的经济情况和能耗要求, 加压加速烧结技术的优越性都大大超过传统的烧结技术和热等静压技术。

加压加速烧结技术为获得完全致密的粉末冶金材料提供一种良好的方法, 它所用的压力比传统的热等静压技术所用的压力要低一个数量级。施加压力时的温度大体上和烧结温度相同。这种方法在采用 $70\sim105\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力时, 密致度可大于理论密度的 99%。

在烧结初始阶段, 材料形成稠密的孔隙度, 在随后的短暂加压阶段, 这些气孔被压扁。戈勒姆新材料学会声称, 这两个阶段加起来需要的时间大约是传统烧结工艺所需时间的 35~40%。开始烧结而不加压和随之加压进行烧结这两个阶段都在同一个压力炉内进行。且第二阶段紧跟在第一阶段立即进行。

在 3161 (材料) 坯块上的试验表明, 加压加速烧结工艺的效果相当于烧结后继续在 $1050\text{kg}/\text{cm}^2$ 压力下在 1100°C 持续 1 个小时的热等静压工艺。而加压加速烧结时, 在 1300°C 只用 15 分钟。

据戈勒姆新材料研究学会说, 一家第一流的日本公司已成为加压加速这种工艺第一个外国领有许可证的厂商, 而且, 戈勒姆新材料学会还在进一步寻找合作伙伴以转让和推广这种工艺和另一种热脉冲热等静压工艺。

戈勒姆新材料学会开发的热脉冲热等静压工艺在 80 年代末已用于生产钕铁硼永磁材料, 该工艺后来成功地用于快速凝固钕铁硼合金, 接着又转向 Ni_3Al 合金。

所谓热脉冲就是把材料快速加热到较高的温度 ($10\sim500^\circ\text{C}$ 以上), 持续时间为几秒钟到几分钟, 温度的快速上升和短暂的保持时间可使大多数材料的扩散过程减少到这样的程度, 以致材料没有大的相变, 晶粒尺寸没有什么变化, 而大多数材料的屈服强度此时会降低, 以致可以用比传统的热等静压工艺较低的压实压力就能使材料致密化。热脉冲热等静压工艺的优点包括: 较短的工艺周期、较低的压力、较低的温度和较低的零件成本费用、较细的晶粒尺寸和良好的力学性能。

(刘先曙)